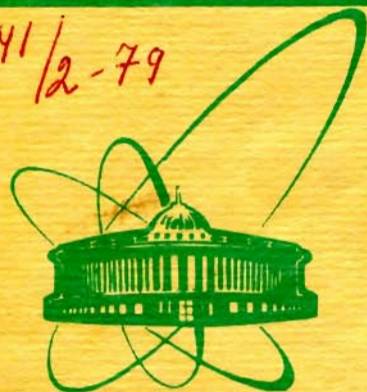


2241/2-79



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С3486

А-745

11/41-79

P13 - 12194

В.Л.Ломидзе, В.В.Мелихов, Ю.Н.Пепельшев,
А.Д.Рогов, Е.П.Шабалин

ФИЗИЧЕСКИЙ ПУСК РЕАКТОРА ИБР-2.

ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА МОЩНОСТИ

1979

Р13 - 12194

В.Л.Ломидзе, В.В.Мелихов, Ю.Н.Пепельшев,
А.Д.Рогов, Е.П.Шабалин

ФИЗИЧЕСКИЙ ПУСК РЕАКТОРА ИБР-2.
ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА МОЩНОСТИ

Ломидзе В.Л. и др.

P13 - 12194

Физический пуск реактора ИБР-2. Измерение формы импульса мощности

Измерена форма импульса мощности реактора ИБР-2 во время его физического пуска без теплоносителя. Исследовано изменение длительности импульса мощности в зависимости от отдельных элементов конструкции и режима работы реактора. Измеренная форма импульса сравнивается с теоретической. Непосредственно измерялась как индивидуальная форма импульса по току с нейтронных детекторов, так и усредненная форма, полученная в счетном режиме на временном анализаторе. Показано, что в состоянии импульсной критичности длительность импульса мощности θ зависит от композиции околосонного оборудования и меняется в пределах 150-220 мкс. Наибольшее влияние на θ оказывает замедлитель, расположенный за дополнительным подвижным отражателем (ДПО) ($\delta\theta = 30$ мкс), а также замена бериллиевого блока ДПО на алюминиевый ($\delta\theta = 40$ мкс). Измеренная форма импульса мощности хорошо согласуется с рассчитанной по одноточечной модели кинетики. Выявлены факторы, позволяющие надеяться на возможность снижения значения θ до 130 мкс.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Lomidze V.L. et al.

P13 - 12194

IBR-2 Reactor Physical Start-Up. The Power Pulse Shape Measurements

The power pulse shape measurements were performed during the IBR-2 physical start-up experiments. The shape of pulse was compared to experimental one. The pulse duration dependence upon some features of core environment and reactor operation regime were investigated. Both the individual pulse shape of the current from the neutron detector and averaged pulse shape received by means of time analyzer were measured. For the pulse criticality conditions pulse duration θ depends on a composition of the core environment and varies within the 150-200 mks range. The most effect on θ is due to a water moderator positioned behind the moving reflector ($\delta\theta = 30$ mks), and the beryllium block of the supplementary moving reflector ($\delta\theta = 40$ mks). The experimental shape of the pulse and theoretical one, based on the one-point kinetics, are in good agreement. The factors which allow one to decrease the pulse duration up to 130 mks are shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

ВВЕДЕНИЕ

Исследования формы импульса мощности были проведены во время физического пуска реактора ИБР-2 без теплоносителя в начале 1978 года. Прежде всего, от формы импульса мощности зависит эффективность ИБР-2 как источника нейтронов для спектроскопии по времени пролета. Кроме того, экспериментальные данные о форме импульса позволяют уточнить наиболее важные константы активной зоны, а сопоставление расчетной и измеренной формы импульса - сделать вывод о применимости одноточечной модели к расчету кинетических параметров ИБР-2.

1. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Детектирующая и измерительная аппаратура

В основу измерений были положены два независимых метода: счетный и токовый. Счетный режим, т.е. регистрация отдельных импульсов с детектора, число которых пропорционально мгновенной мощности реактора $P(t)$, в последовательные интервалы времени осуществлялся с помощью многоканального временного анализатора. Токовый режим проводился путем регистрации одиночного токового сигнала с детектора, форма которого соответствовала импульсу мощности. В качестве детектирующей системы за основу были приняты ионизационные камеры деления КНТ-14 и ThRJ-200, основные характеристики которых представлены в табл. 1. Камера КНТ-14 устанавливалась непосредственно в центре активной зоны и использовалась как в счетном, так и в токовом режимах. Камера ThRJ-200 ис-

Таблица 1

Основные параметры ионизационной камеры

№	Название параметра	КНТ-14	ТМЗ-200
1.	Чувствительность к нейтронам спектра деления, $\text{имп}/(\text{н}/\text{см}^2)$	$3,24 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$
2.	Токовая чувствительность к нейтронам спектра деления $\text{А}/(\text{н}/\text{см}^2 \cdot \text{с})$	$3,74 \cdot 10^{-16}$	$4 \cdot 10^{-17}$
3.	Материал конвертора	U^{238}	Th^{232}
4.	Эффективный порог деления, Мэв	0,8	1,2
5.	Время собирания электронной компоненты тока, нс	30	-
6.	Максимальный ток в стационарном нейтронном потоке, мА	4	-

пользовалась только в счетном режиме на выведенном нейтронном пучке. Дополнительно форма импульса регистрировалась сцинтилляционным детектором с пластиковым сцинтиллятором по протонам отдачи. В качестве стартового импульса, запускающего временной анализатор, использовался сигнал с емкостного датчика основного подвижного отражателя. Старт подавался не менее чем за 150 мкс до максимума импульса мощности. Структурная схема детектирующей и измерительной электроники представлена на рис. 1.

1.2. Точность регистрации формы импульса мощности

За основу оценок неопределенностей всех учитываемых факторов, определяющих методическую погрешность измерения, принят их вклад $\Delta\theta$ в ошибку регистрации ширины импульса мощности на половине высоты θ .

Рассмотрим счетный режим.

Погрешность $\Delta\theta_k$, обусловленная конечной шириной канала временного кодировщика Δt , составляла $\Delta\theta_k = 8 \text{ мкс}$.

Статистическая ошибка $\Delta\theta_N$, определяемая числом зарегистрированных импульсов с детектора на один временной

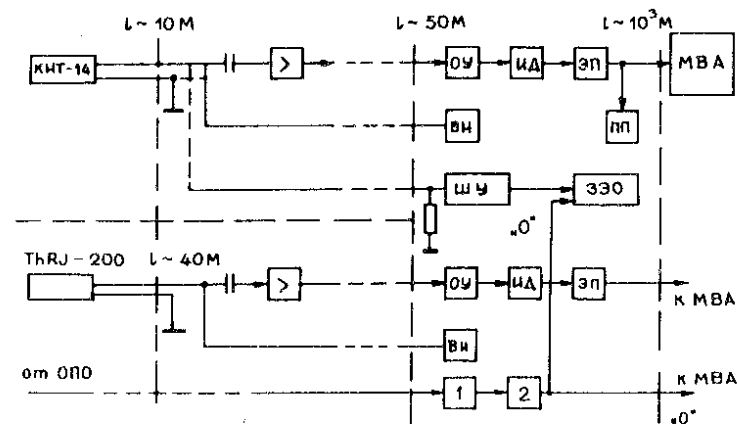


Рис. 1. Структурная схема измерения формы импульса мощности. ОУ - основной усилитель, ИД - интегральный дискриминатор, ЭП - эмиттерный повторитель, МВА - многоканальный временной анализатор, ВН - блок высокого напряжения, ПП - пересчетный прибор, ШУ - широкополосный усилитель, ЗЭО - запоминающий электронный осциллограф; 1 - блок формирования стартового сигнала от ОПО, 2 - интерфейсный блок.

канал, рассчитывалась в программе обработки формы импульса на ЭВМ и не превышала $2 \pm 6 \text{ мкс}$.

Искажения формы, связанные с конечным "мертвым" временем регистрирующей системы τ_m , оценивались расчетным путем как результат решения следующего уравнения [1]:

$$n^*(t) = n(t) \left\{ 1 - \frac{n}{C \cdot f \Delta t} \int_{t-\tau_m}^t n^*(x) dx \right\}, \quad /1/$$

$n^*(t)$, $n(t)$ - скорость регистрации и, соответственно, скорость поступления событий на один временной канал; f - частота повторения нейтронных пачек; n - среднее число импульсов, поступающих на анализатор в секунду /экспериментально определяемый параметр/, C - константа, определяемая из условия нормировки для $n(t)$. Для гауссового приближения $n(t)$ при $n \leq 10 \text{ имп./с}$ $\Delta\theta_m \leq 2 \text{ мкс}$.

Флюктуации θ , обусловленные флюктуациями реактивности ϵ_m ^{1/2} /:

$$\frac{\Delta\theta_\epsilon}{\theta} = (0,3\sqrt{B} - \frac{1}{4}) \frac{\Delta\epsilon_m}{\epsilon_m}$$

Для экспериментальных значений a и τ , входящих в параметр $B = \epsilon_m^{3/2} / (a^{1/2} \cdot v \cdot \tau)$, а также данных по флюктуациям ϵ_m значение $\Delta\theta_\epsilon$ при $f = 50$ имп./с равно $\approx 0,6$ мкс. Флюктуации θ за счет изменения скорости v вращения ОПО:

$$\frac{\Delta\theta_v}{\theta} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta v}{v}$$

Используя экспериментальные данные для $\Delta v/v$, имеем $\Delta\theta_v < 0,1$ мкс. При определении абсолютных значений $\Delta\theta$ величина θ в расчетах принималась равной 200 мкс.

Анализируя приведенные выше погрешности, можно отметить, что в счетном режиме в основном доминируют статистическая погрешность и погрешность из-за конечной ширины канала временного кодировщика. В среднем полная ошибка $\Delta\theta = \pm 10$ мкс.

Ошибки токового режима, свободного от влияния рассмотренных дестабилизирующих факторов, присущих счетному режиму, имеют дополнительные специфические особенности.

Влияние конечной полосы пропускания усилительного и регистрирующего тракта на θ составляет $\Delta\theta_y \approx 0,8$ мкс.

Искажения $\Delta\theta_D$, вносимые амплитудно-частотной характеристикой детектора /А-ЧХ/, при отсутствии прилипания и рекомбинации, т.е. когда камера работает в режиме насыщения ионизационного тока, можно точно определить, используя представление А-ЧХ в виде ^{3/}

$$J(\omega\tau) = \frac{1}{(\omega\tau)^2} (a^2 + b^2)^{1/2}$$

где $a = \sin(\omega\tau) - \omega\tau$; $b = 1 + \frac{1}{2}(\omega\tau)^2 - \cos(\omega\tau)$; τ - время собирания положительных ионов в чувствительном объеме камеры. Если $P^*(t)$ - зарегистрированный сигнал, то для истинной формы импульса имеем

$$P(t) = F^{-1}[P(j\omega)] = F^{-1}[P^*(j\omega)/J(j\omega)]$$

Для камеры КНТ-14 при напряжении питания 1200 В величина $\Delta\theta_D = 2$ мкс.

Статистическая расчетная погрешность регистрации в интервале θ задается в виде

$$\Delta\theta_{ст} \approx 2,036(f/P)^{1/2} \text{ мкс,}$$

здесь P - средняя мощность в ваттах.

Погрешность регистрации формы огибающей токового импульса с детектора. Под этим понимается неопределенность регистрации, вызванная конечной шириной светящейся области на экране осциллографа $\Delta\theta_p$, и размытие ее щупами "белого" спектра усилителя $\Delta\theta_{ш}$. Вклад шумовой компоненты для принятой схемы регистрации равен $\Delta\theta_{ш} \approx 0,486 \cdot f/P \text{ мкс}$, а экспериментальное значение $\Delta\theta_p$ равно 4 мкс.

На рис. 2 показана зависимость полной ошибки регистрации

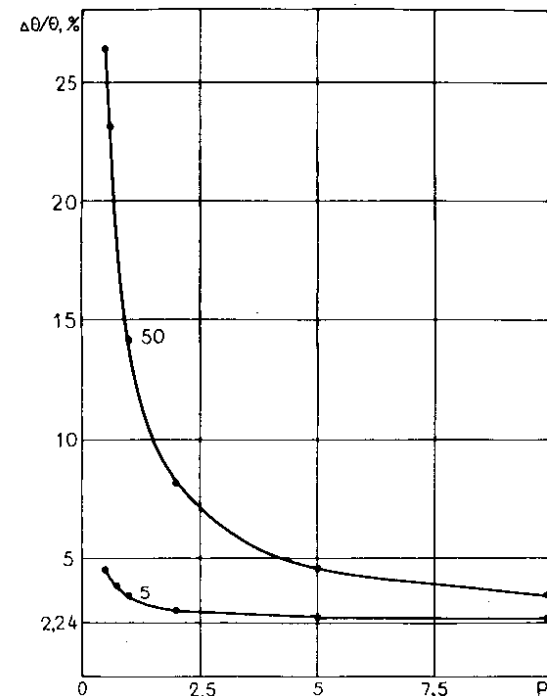


Рис. 2. Относительная ошибка регистрации длительности одиночного импульса мощности на половине высоты $\Delta\theta/\theta$ в зависимости от среднего уровня мощности в Вт. Цифрами отмечена частота реактора в имп./с. Длительность импульса θ принималась равной 200 мкс.

$\Delta\theta = [\sum_{i=1}^n (\Delta\theta_i)^2]^{1/2}$ от уровня средней мощности. При $P \geq 100$ Вт $\Delta\theta$ в основном сходится к пределу, определяемому точностью съема осциллограммы $\Delta\theta_p$.

2. УСЛОВИЯ РАБОТЫ РЕАКТОРА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Форма вспышки измерялась как в подкритическом состоянии реактора, так и на мощности. Во всех измерениях конфигурация загрузки активной зоны топливом оставалась неизменной. Изменению подлежали: уровень средней мощности P , частота вспышек f , фаза вращения ОПО-ДПО относительно их положения, соответствующего максимальному значению реактивности, наличие или отсутствие замедлителей. Детальный анализ и обработка формы импульса даны в следующем разделе.

2.1. Подкритический режим, $f = 50$ имп./с

Активная зона была окружена замедлителями, кроме замедлителя, стоящего за ДПО. На рис. 3 приведена форма импульса мощности подкритического реактора. Там же показана форма сателлитов от противовесов основного подвижного отражателя. Длительность импульсов мощности θ при уровнях подкритичности $\Delta K/K$, равных $-0,01$ и $-0,02$, оказалась соответственно равной 720 и 824 мкс. Рис. 4 иллюстрирует форму импульса мощности при $\epsilon_m = 0$ /критичность на мгновенных нейтронах/; $\theta = 240$ мкс. Ширина импульса, вычисленная по формуле $\theta = 1,98 (\tau/\alpha \cdot v^2)^{1/3}$, для экспериментально определенных значений τ и α равна 244 мкс.

2.2. Форма импульса мощности в состоянии импульсной критичности

Все данные о состоянии реактора и величине θ сведены в табл. 2. Поскольку в этом режиме стохастическими флуктуациями можно пренебречь, форма импульса не зависит от уровня

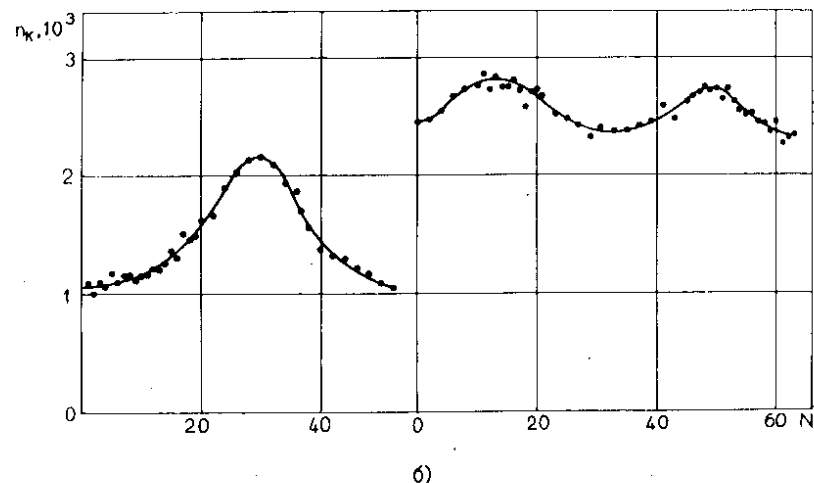
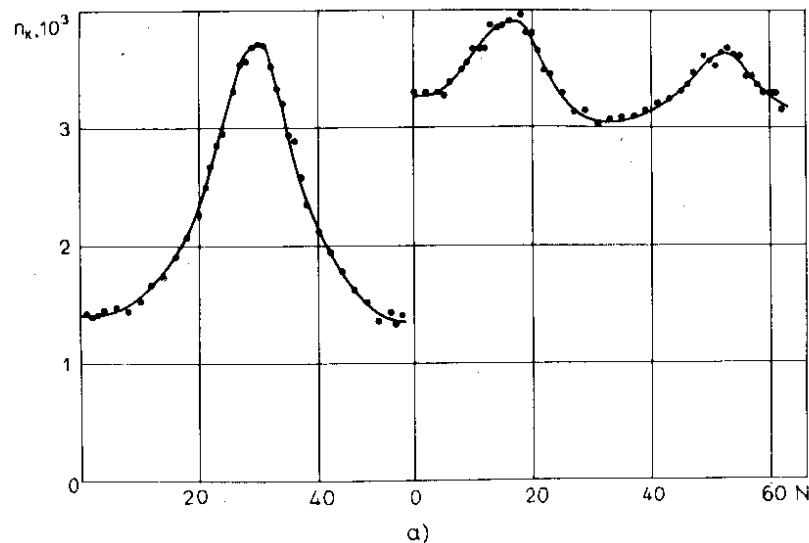


Рис. 3. Форма импульса мощности в области отрицательных значений реактивности. Частота вспышек 50 имп./с. Активная зона окружена замедлителями, кроме замедлителя за ДПО. n_k - число отсчетов в канале временного анализатора, N - номер канала. Ширина канала для импульса мощности равна 48 мкс, для сателлитов - 112 мкс. Ось абсцисс имеет разрыв. а - $\Delta K_{эфф} = -1\%$, б - $\Delta K_{эфф} = -2\%$.

мощности, а ее полуширина, измеренная в токовом режиме, оценивается:

$$\theta \pm \Delta\theta = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i (1/\Delta\theta_i)^2}{\sum_{i=1}^n (1/\Delta\theta_i)^2} \pm \left[\frac{\sum_{i=1}^n (1/\Delta\theta_i)^2}{\sum_{i=1}^n (1/\Delta\theta_i)^2} \right]^{-1/2},$$

где n - число уровней мощности, на которых производились измерения.

Таблица 2

Состояние реактора и значение ширины импульса мощности θ .

№	P, Вт	Замедлитель на ДПО	Основные замедлители	θ мкс	$\pm \Delta\theta$ мкс	α град	τ ис	Примечание
Токовый режим, $f = 50$ имп/с								
1.	0,8+100	-	+	190	3	$1,25 \cdot 10^{-4}$		КНТ-14 в активной зоне
2.	65	-	-	181	4	$1,25 \cdot 10^{-4}$	72	
3.	3 + 100	-	-	189*	3	$1,25 \cdot 10^{-4}$	78	
4.	109	+	+	220	3	$1,0 \cdot 10^{-4}$	83	
5.	15	-	+	150**	4	$1,8 \cdot 10^{-4}$	64	
Счетный режим, $f = 50$ имп/с								
6.	350	-	+	196	12	$1,25 \cdot 10^{-4}$		ТрАЭ-200 в пучке
7.	370	+	+	208	10	$1,0 \cdot 10^{-4}$	83	
Токовый режим, $f = 5$ имп/с								
8.	10+100	+	+	198	3		83	КНТ-14
9.	125	+	+	197			83	

Примечание: Знаки +/- указывают на наличие или отсутствие соответствующих замедлителей; * - с имитатором холодного замедлителя /ИХЗ/; ** - ДПО выведен на 20° .

Во всех измерениях, указанных в таблице /кроме отмеченного **/, дополнительный подвижный отражатель во время импульса находился в физическом центре, т.е. в положении, соответствующем максимальной реактивности.

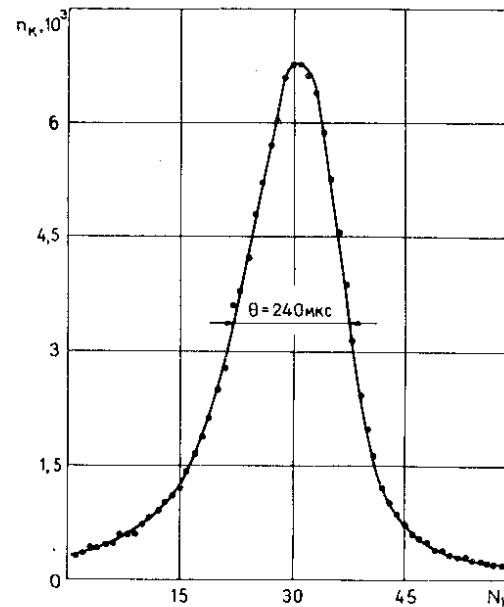


Рис. 4. Форма импульса мощности при критичности на мгновенных нейтронах ($\epsilon_m = 0$) при частоте всплеск 50 имп./с. n_k - число отсчетов в канале временного анализатора, N_k - номер канала. Ширина канала 16 мкс.

Зависимость величины θ от положения ДПО относительно физического центра в момент импульса приведена на рис. 5. Форма импульсов сателлитов от противовесов основного подвижного отражателя представлена на рис. 6. Измерения проводились в счетном режиме на уровне средней мощности 0,6 Вт при частоте 50 Гц. Для исключения перегрузки анализатора от основного импульса мощности стартовый импульс был задержан на 596 мкс относительно времени, соответствующего максимальному значению импульса мощности. Для наглядности на рис. 6 показан "хвост" основного импульса мощности. Ширина обонх сателлитов равна 1600 мкс.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Теоретическая форма импульса в рамках одноточечной модели кинетики подробно рассмотрена в работах /2,4/ и подтверж-

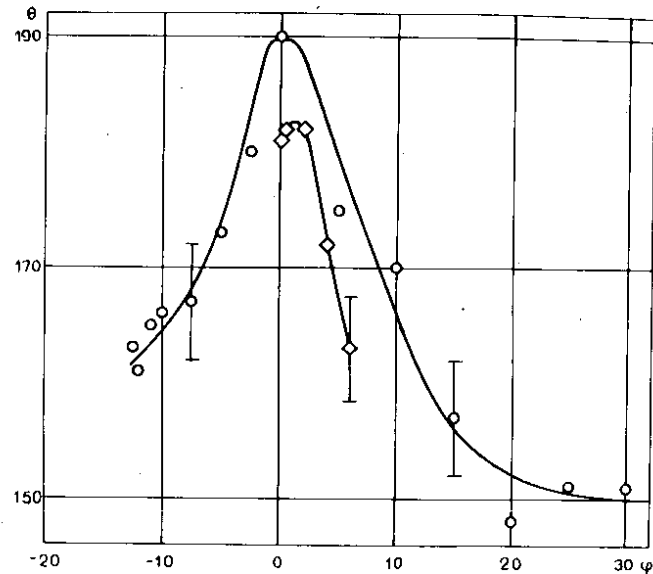


Рис. 5. Зависимость длительности одиночного импульса мощности на половине высоты θ /мкс/ от угла поворота дополнительного подвижного отражателя относительно физического центра ϕ /град./ . Частота вспышек 50 имп./с. \diamond - все замедлители отсутствуют, $P = 65$ Вт, \circ - замедлитель за ДПО отсутствует, $P = 15$ Вт.

дена экспериментально для модулятора реактивности из делящегося материала ^{5/}. По этой модели для параболической зависимости реактивности вблизи мгновенной критичности $\epsilon(t) = \epsilon_m - a\omega^2 t^2$ форма импульса описывается уравнением

$$N(t) = N_m \cdot \exp[-BP^2(1 + P/3)], \quad /2/$$

где $B = \epsilon_m^{3/2} / (a^{1/2} \cdot \omega \tau)$ - безразмерный параметр, a - коэффициент параболы модулятора реактивности, град^{-2} ; ω - угловая скорость модулятора реактивности, град/с ; τ - время жизни ценности нейтронов в активной зоне, $P = \frac{t - t_1}{t_1}$; t_1 - положение максимума импульса мощности. ^{2/}

В гауссовом приближении форма импульса вблизи максимума довольно хорошо соответствует точной форме, при этом полуширина импульса мощности ^{2/}

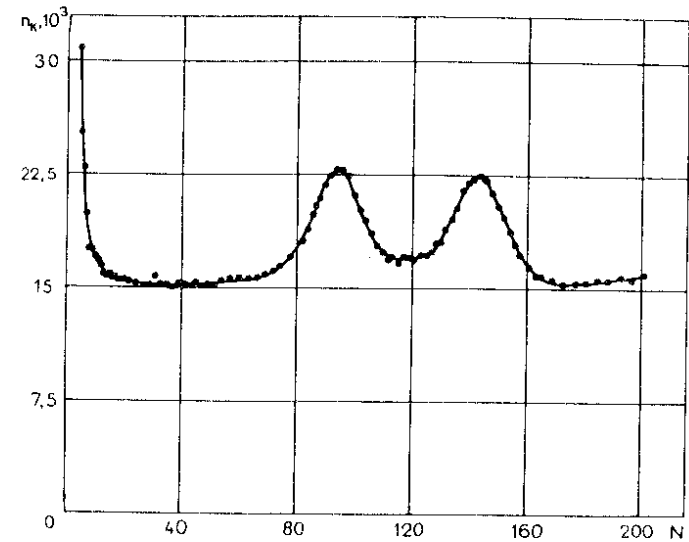


Рис. 6. Форма импульсов спутников от противовесов основного подвижного отражателя. n_k - число отсчетов в канале временного анализатора, N - номер канала. Ширина канала 80 мкс. В первых каналах виден "хвост" основного импульса мощности.

$$\theta = 2 \cdot \sqrt{B \cdot \ln 2} \cdot \tau / \epsilon_m = 1,66 \cdot a^{-1/4} \cdot \omega^{-1/2} \cdot \tau^{1/2} \cdot \epsilon_m^{-1/4}. \quad /3/$$

Для равновесного режима часто используют другую запись:

$$\theta = K(\tau/a\omega^2)^{1/3}, \quad /4/$$

где K - коэффициент, слабо зависящий от ϵ_m , a , τ и определяемый из условия критичности.

Экспериментальная форма одиночного импульса аппроксимировалась на ЭВМ сплайнами третьего порядка и сравнивалась с численным решением одноточечного уравнения кинетики ^{6/}. Подбиралось значение времени жизни ценности нейтронов, при котором длительность импульса была бы равна экспериментальной. На рис. 7,8 в качестве примера показаны результаты аппроксимации для разных состояний реактора. Форма импульса, измеренная в счетном режиме, обрабатывалась методом наименьших квадратов. При этом теоретическая форма также за-

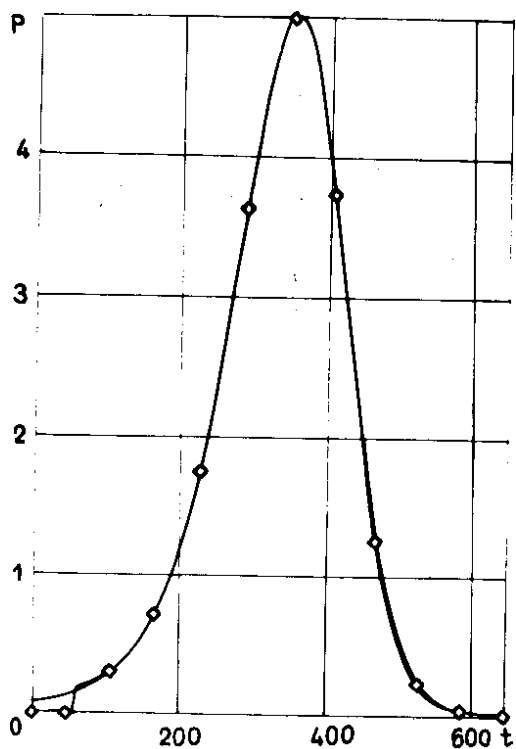


Рис. 7. Форма одиночного импульса мощности при $f = 50$ имп./с. Длительность импульса $\theta = 181$ мкс. Все замедлители отсутствуют. \diamond - эксперимент, сплошная линия - расчет по одноточечной модели с подобранным значением $\tau = 72$ нс. t - время /мкс/.

давалась как результат численного решения одноточечного уравнения кинетики. Рис. 9 иллюстрирует результат такой обработки. Расчеты показали, что форма импульса хорошо описывается одноточечной моделью кинетики реактора. Небольшие отличия экспериментальной формы от теоретической на краях импульса мощности /см. рис. 7,8/ объясняются ошибками в измерении формы импульса в этой области.

Из анализа данных табл. 2 видно, что наибольшее влияние на длительность импульса $\delta = 30$ мкс/ оказывает замедлитель, расположенный за ДПО, а также, в меньшей степени

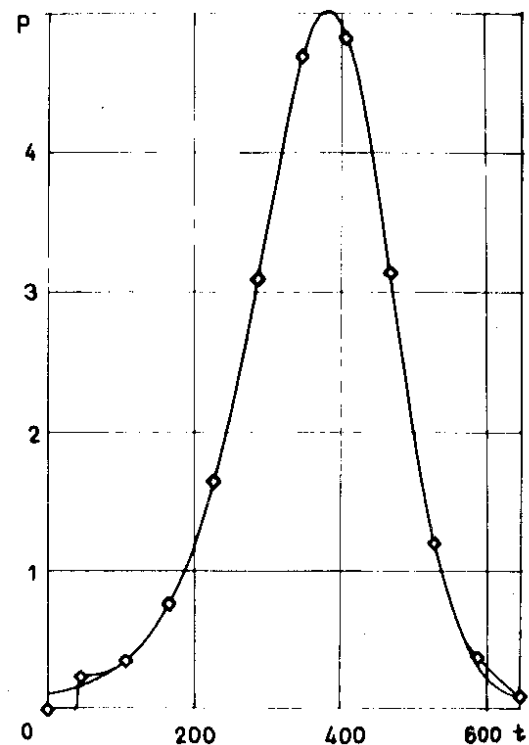


Рис. 8. Форма одиночного импульса мощности при $f = 50$ имп./с. Все замедлители установлены. Длительность импульса $\theta = 220$ мкс. \diamond - эксперимент, сплошная линия - расчет по одноточечной модели с подобранным значением $\tau = 92$ нс. t - время /мкс/.

$\delta = 8$ мкс/, замедлитель со стороны блоков медленной аварийной защиты /ИХЗ/. Во втором случае увеличение θ , очевидно, связано с увеличением τ за счет обратного рассеяния эпителизовых и резонансных нейтронов, проходящих в активную зону через блоки МАЗ. Другие замедлители отделены от активной зоны более толстым слоем бористой стали $\delta\theta \approx 1$ мкс/. Замедлитель за ДПО, как видно из табл. 2, существенно изменяет /в сторону увеличения θ / как a , так и τ .

Расчеты, проведенные с использованием экспериментальных данных по τ и a в отсутствие кожуха ОПО, охлаждаемого водой, показали сильное влияние кожуха на $\theta / \delta\theta = 15$ мкс/.

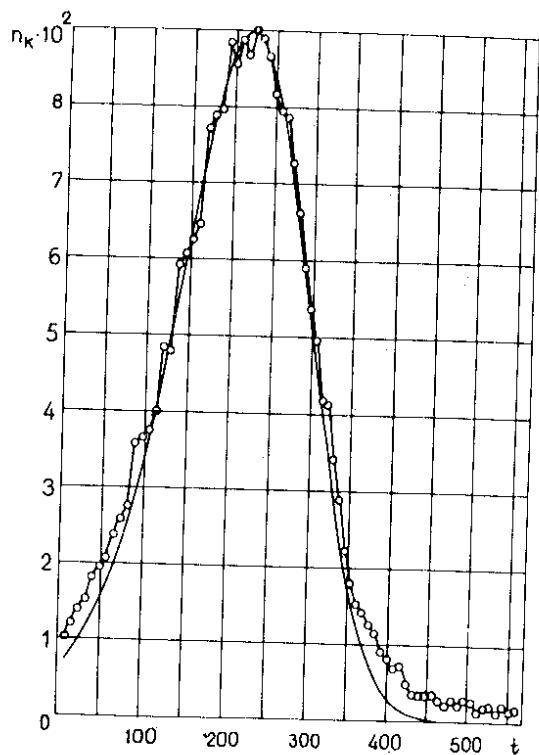


Рис. 9. Форма импульса мощности при $\tau = 50$ имп./с. n_k - число отсчетов в канале временного анализатора, t - время /мкс/. \circ - эксперимент, сплошная линия - расчет по одноточечной модели с подобранным значением τ . Замедлитель за ДПО отсутствует.

Интересно отметить резкое уменьшение длительности импульса при сдвиге ДПО относительно физического центра /см. рис. 5/. Минимальное θ /150 мкс/ получено для углов $\phi \geq 20^\circ$, когда бериллиевый блок ДПО выведен за боковую плоскость активной зоны. Форма импульса в этом случае представлена на рис. 10. Зависимость θ от положения ДПО связана с изменением величин τ и a . Причем, $d\theta/d\phi$ больше при отсутствии замедлителей. Эксперименты на физическом пуске показали, что замена бериллиевого блока ДПО на алюминий /материал диска ДПО/ уменьшает τ на 14 ± 7 нс /на 15%/ и увеличивает a на

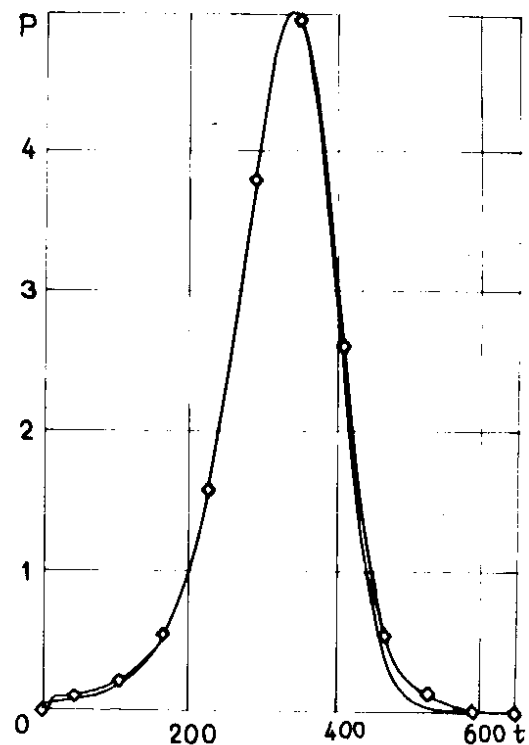


Рис. 10. Форма одиночного импульса мощности при $\tau = 50$ имп./с. Замедлитель за ДПО отсутствует. ДПО выведен на 20° по часовой стрелке относительно положения, соответствующего максимальной реактивности, \diamond - эксперимент, сплошная линия - расчет по одноточечной модели с подобранным значением $\tau = 66$ нс. Длительность импульса $\theta = 150$ мкс, t - время /мкс/.

$6 \cdot 10^{-5}$ град $^{-2}$, т.е. на 60%. Это соответствует экспериментально наблюдаемому изменению $\delta\theta \approx 40$ мкс.

Сложность конструкции активной зоны и модулятора реактивности, все особенности которой трудно учесть в расчетах, привела к тому, что расчетные величины $\tau = 42$ нс и $a = 3,4 \cdot 10^{-4}$ град $^{-2}$ оказались отличными от экспериментальных значений $\tau = 83$ нс и $a = 1,0 \cdot 10^{-4}$ град $^{-2}$, что и обусловило такое различие $\theta - 220$ мкс вместо 92 /7/.

В табл. 3 показано, как тот или иной узел активной зоны при прочих равных условиях изменяет величину θ .

Таблица 3

Изменение полуширины импульса мощности $\delta\theta$, обусловленное отдельными компонентами активной зоны или режимами ее работы

№	Название параметра	$\delta\theta$, мкс	Погрешность, мкс
1.	Имитатор холодного замедлителя	+ 8	± 4
2.	Замедлитель за ДПО	+ 30	± 4
3.	Основные замедлители	+ 1	± 4
4.	ДПО из бериллия	+ 40	± 4
5.	Кожух ПО	+ 15	± 5
6.	Смена частоты повторения импульсов мощности с 50 до 5 имп/с (см. рис. 11)	- 22	± 4

* Вклад в $\delta\theta$ дан по результатам конкретных измерений, $\delta\theta$ зависит от режима работы и состояния других компонент.

** Оценка по измерениям τ и α на критическом стенде, в котором штатный подвижный отражатель заменен макетом, для состояния с алюминиевым ДПО и без замедлителя за ДПО.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные результаты показали, что форма импульса мощности хорошо описывается одноточечной моделью кинетики. Влияние замедлителей оказалось не настолько сильным, чтобы нарушить справедливость одноточечной модели.

2. Длительность импульса мощности /220 мкс/ оказалась существенно больше расчетного значения /92 мкс/. Это связано с недооценкой в расчете влияния ДПО, замедлителя за ДПО и других элементов конструкции МР на величины τ и α .

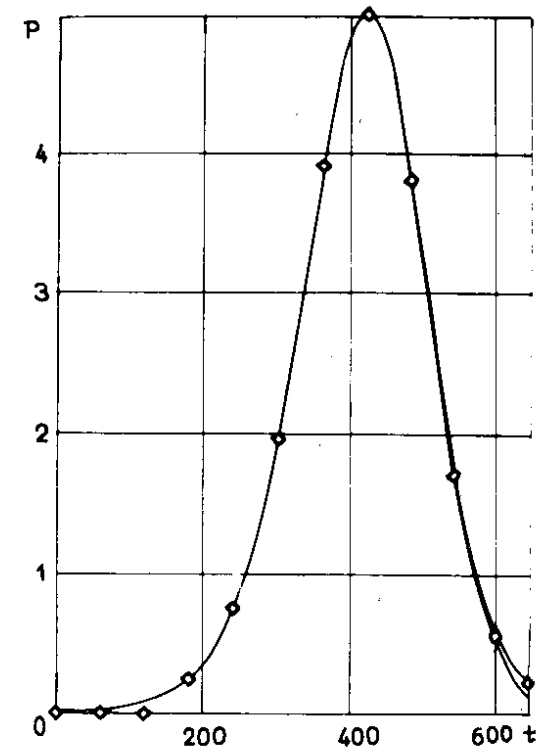


Рис. 11. Форма импульса мощности при $f = 5$ имп./с. Все замедлители установлены. \diamond - эксперимент, сплошная линия - расчет по одноточечной модели с подобранным значением $\tau = 87$ нс. t - время /мкс/.

3. Главные мероприятия для снижения величины θ сводятся к уменьшению τ /например, путем введения экрана между замедлителем и активной зоной, поглощающего тепловые и резонансные нейтроны, особенно со стороны ДПО и блоков МАЗ/, а также к увеличению α за счет оптимизации конструкции и материала ДПО.

4. Многократные измерения формы одиночного импульса мощности показали ее высокую стабильность: флуктуации формы менее 1% при среднем уровне мощности $P \approx 10,0$ Вт. Это обусловлено малыми флуктуациями максимального значения

реактивности и хорошей стабильностью вращения модулятора реактивности.

5. При новом варианте модулятора реактивности ожидаемое увеличение параметра a и уменьшение τ позволяют надеяться на возможность снижения значения θ до 130 мкс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guest P.G., *Austral. J. Phys.*, 1958, 2, p.143.
2. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. Атомиздат, М., 1976.
3. Galiowski L., Labno L. *Nukleonika*, 1966, XI, No.3.
4. Бондаренко И.И., Слависский Ю.Я. АЭ, 1959, т.7, вып. 5, с.417.
5. Франк И.М. ОИЯИ, Р-674, Дубна, 1961.
6. Rogov A.D. ОИЯИ, Б1-11-10124, Дубна, 1976.
7. Rogov A.D., Шабалин Е.П. ОИЯИ, РЗ-9990, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 января 1979 года.